

**Modern geomatematikai módszerek alkalmazása a vízvédelemben
- a Kis-Balaton Vízvédelmi rendszer idősorainak példáján -**

Hatvani István Gábor

A doktori értekezés tézisei

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar
Környezettudományi Doktori Iskola
Környezeti Földtudomány Doktori Program

A Környezettudományi Doktori Iskola és a Környezeti Földtudomány Program vezetője:
Prof. Galács András (Öslénytani Tanszék)

Témavezető: Kovács József Ph.D. (Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék)

Konzulens: Korponai János Ph.D. (Nyugat-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Kis-Balaton Üzemmnökség, Keszthely és Nyugat Magyarországi Egyetem, Földrajz és Környezettudományi Intézet, Szombathely)

Budapest, 2014

Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
Anyag és módszertan	2
Eredmények	3
Köszönetnyilvánítás	4
A doktori munka keretében készült publikációk és kivonatok jegyzéke.....	4
Válogatott irodalom	10

Bevezetés

A felszíni vizek között a sekély tavak fokozottan érzékenyek a környezeti változásokra és antropogén hatásokra. Ez alól Közép-Európa legnagyobb sekély vizű tava, a Balaton sem kivétel. A XX. század második felében tapasztalt vízminőség romlás megállítására létrehozták a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszert (KBVR), melynek célja, hogy visszatartsa a Zala folyó által szállított növényi tápanyagokat a tó nyugati medencéjétől, a Keszthelyi-öböltől (Kárpáti ed., 1980; Tátrai et al., 2000). A KBVR megvalósítása két ütemben történik. Az I. ütem 1985-ben lépett üzembe, célja az volt, hogy a Zala által szállított hordalék és tápanyag minél nagyobb arányú hányadát tartsa vissza. A II. ütem, (1992-ben került részleges elárasztásra) feladata, hogy megakadályozza a plankton-szervezetekben gazdag víz és tápanyagok Balatonba jutását. A II. Ütem még nincs befejezve, egy 16 km²-es rész került átadásra, befejezését a hatóságok 2013-2014-re tervezik.

A kutatás fő céljai:

- (1) A KBVR hosszútávú idősorainak elemzésén keresztül bemutassa néhány geometrikai módszer alkalmazhatóságát a vízvédlemben, specifikusan egy összetett folyó-eutróf tó-wetland rendszeren;
- (2) Megvizsgálja a KBVR-ben három évtizeden át zajló folyamatokat exploratív adatelemző módszerek segítségével, hogy többletinformációt nyerjünk ki az eddigiekhez képest és, hogy hozzásegítsen a rendszer jobb megértéséhez;
- (3) A mintavételezési gyakoriság időbeli optimalizálásával segítse a rendszer hatékonyabb működését költség és erőforrás szempontjából.

Mindezeken felül a kutatás megpróbálja kezelni azt az ellenmondásos helyzetet, miszerint „Adatokban gazdag, de információban szegény ország vagyunk” (Clement, 2013). Ez az állítás Magyarországra kifejezetten igaz, ahol adatok százzezrei „feksznek a fiókok mélyén” anélkül, hogy megfelelő mélységgel azokat vizsgálták volna. A kutatási terület vonatkozásában 30 év mintavételezése és mérése nyomán több mint 250.000 adat állt rendelkezésemre. Ez a tényező is arra serkentett, hogy a lehető legnagyobb mennyiségű többletinformációt nyerjek ki sztochasztikus modellezés segítségével. A kutatás és az

alkalmazott megközelítés segítségével olyan összefüggésekre és állapotokra lehetett fényt deríteni, melyek nagyban segíthetik mind a KBVR, mind a hasonló élőhelyek megőrzését, azok folyamatainak követését, főként annak fényében, hogy 2013-2014-ben tervezik befejezni a rendszert.

Anyag és módszertan

A kutatás során 24 heti, és 3, napi mintavételezésű paraméter (valószínűségi változó) idősora képezte a vizsgálat tárgyát a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer 12 mintavételi pontjáról és egy-egy pontról a Zalából és a Keszthelyi-öbölből, 1977-2009-es időintervallumból. A felhasznált adatok száma megközelítette a 250 000-et.

Az alkalmazott módszerek az alábbiak voltak:

- *leíró statisztikák és elemi idősoros módszerek*, hogy átfogó képet kapjak a rendelkezésre álló adatokról és a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer történeti mérőföldköveiről;
- *klaszter-, diszkriminancia-, főkomponens analízisek és Wilks' lambda statisztikák*, hogy
 - megtaláljam azon vízminőségi paramétereket, amelyek meghatározó szereppel bírnak a sztochasztikus kapcsolatok szempontjából,
 - megtaláljam a hasonló vízminőségi mintázatokat,
 - rávilágítsak a rendszer „új stabil állapotára” (Scheffer et al., 1993);
- *dinamikus faktoranalízis* (Kovács et al., 2004), hogy meghatározzam, mely külső látens hatások, folyamatok befolyásolják a Zala évtizedes viselkedését;
- *variogram vizsgálat*, hogy megválaszolhassam a kérdést - szakmai és gazdasági szempontokra alapozva - van-e lehetőség a napi mintavételi gyakoriság időbeli csökkentésére a KBVR-en,
- *wavelet spektrum analízis*, hogy egy átfogó képet adhassak a KBVR különböző élőhelyein mért vízminőségi paraméterek azon képességéről, hogy időben mennyire követik-e az éves periódust.

Eredmények

- 1) A pontforrás és diffúz eredetű tápanyagterhelések szétválasztása egy kifejezetten nehéz probléma, mindazonáltal dinamikus faktoranalízis segítségével ki tudtam mutatni a Zala folyót irányító háttér folyamatokban bekövetkezett változásokat. Konkrétan, a diffúz terhelések szerepe lecsökkent, míg a pontforrások és a biológiai aktivitás szerepe megnőtt.
- 2) Klaszter analízissel kimutattam, hogy a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) I. és II. üteme közötti határ az évek alatt dinamikusan változott. A legszembevetőbb változás 1997 és 1998 között történt, amikor a 202-es mintavételi pont (mvp.) áttért az I. ütemet lefedő klaszter csoportból a II. ütemet lefedő klaszter csoportba és a vizsgált teljes időtartam alatt megtartotta ezt a kapcsolatát. Ennek oka az állandó vízszintben, melynek hatására kipusztult a 202-es mvp. környezetében a makrofita vegetáció.
- 3) Input-output analízissel áttekintettem a KBVR foszfor visszatartási képességét. Ezzel kimutattam, hogy összességében lecsökkent a Balatont érő foszforterhelés mértéke, köszönhetően a gazdasági változásoknak, vízminőség-védelmi intézkedéseknek és a KBVR hatásának. Ezen felül megállapítható, hogy Somlyódy et al. (2003)-óta nem történt változás a KBVR foszfor visszatartási kapacitásában.
- 4)
 - a) Klaszter- és főkomponens analízisekkel, illetve Wilks' lambda statisztika alkalmazásával bemutattam, hogy a tápanyagok koncentrációjának átfogó csökkenése volt felelős a jelenségért, hogy Keszthely mvp., a KBVR szemszögéből önálló klaszter csoportba került az alacsony vízhozamú években.
 - b) Vízhozam vonatkozásában kimutattam, hogy nem Keszthely mvp. sztochasztikus kapcsolatai változtak meg a magas és alacsony vízhozamú évek között, hanem a 2000-es évet követő alacsony vízhozamú években, a II. ütem első főkomponensében szereplő szerves paraméterek közé kerültek tápanyagháztartásért felelős valószínűségi változók is. Ez volt az az időszak, amikor Keszthely mvp. különálló csoportot alkotott.
- 5) Periodicitás vizsgálattal új megközelítésből világítottam rá a vizes élőhelyek (wetland-ek) érzékenységére. Ahogy az input-output analízisből is látszott, a II. Ütem területére Somogy megyéből 40% vízhozam és 25-30% tápanyagtöbblet érkezik a wetland területére. Ezek a többletterhelések megváltoztatják a II. ütemen mért változók periodikus viselkedését, csökkentik a wetland-nek azt képességét, hogy éves periodicitást mutasson. Így, amennyiben megnövelik a II. ütem területét, úgy a megnövekedett puffer kapacitás miatt, az feltehetően jobban tudja meg őrizni az éves periodicitást többletterhelések esetén.
- 6) Idősoros- és klaszter analízisek alapján javaslatot tettem egy évszakos váltakozásokat követő vízszintmenedzsmentre, hogy megőrizzük a II. Ütem makrofita vegetációját.

- 7) Klaszter- és főkomponens analízisekkel, illetve Wilks' lambda statisztika segítségével meghatároztam a Keszthelyi öböl „új stabil állapotát”, ahol a nagyfokú planktonikus eutrofiáció már nem játszik döntő szerepet, hiszen az térben folyásiránynak felfelé, a KBVR I. Ütemébe helyeződött át.
- 8) Kódolt klaszter analízis segítségével kimutattam, hogy 1998 után a KBVR kifolyója (Z27) és Keszthely mintavételi pontok két különálló víztestként viselkednek a Balaton többi medencéjéhez képest.
- 9) Félvariogramokkal meghatároztam, hogy a napi mintavételezés összes foszfor és összes nitrogén paraméterek esetén - amennyiben tápanyagterhelés becslés a cél - csökkenthető három napi gyakoriságra. Ez a lépés jelentős költségmegtakarítást eredményezne és hatékonyabbá tenné a monitoring hálózatot. A módszer más víztestekre is alkalmazható.

Köszönetnyilvánítás

Első sorban szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. Kovács Józsefnek és konzulensemnek Dr. Korponai Jánosnak. Hálával tartozom szüleimnek, Aszódi Máriának és Prof. Dr. Hatvani István Lászlónak; és legközebbi családtagomnak, nagymamámnak Chiovini Mártának, aki mindvégig támogatott...

Hálás vagyok a szakmai segítségért Dr. Clement Adrienne-nek, Dr. Márkus Lászlónak, Prof. Pap Lajosnak, Prof. Füst Antalnak és Prof. Alfred P. Blaschke-nek, továbbá a gondolatébresztő diszkusszióknak Prof. Kiss Ádámmal, Prof. Török Ákossal és Dr. Tátrai Istvánnal.

Hálával tartozom továbbá Süle Györgynek, hogy rendelkezésemre bocsájtotta az adatokat, Dr. Szilágyi Nórának a Matlab *m programért, Tanos Péternek a segítségért az ábrák megrajzolásában, Paul Thatcher-nek az angol nyelvi lektorálásért és minden egyes kollégának, akivel a kutatás során valaha együtt dolgoztam.

A doktori munka keretében készült publikációk és válogatott kivonatok jegyzéke

FOLYÓÍRATCIKK, SZAKCIKK

Hatvani István, Kovács József, Korponai János, Kovácsné Székely Ilona

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) hosszú távú fizikai, kémiai és biológiai paramétereinek elemzése (in English: The analysis of the long term chemical, biological and physical parameters'' time series in the Kis-Balaton Water Protection System)

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY 89: (6)15-18 (2009)

Kovács József, Hatvani István Gábor, Korponai János, Székely Kovács Ilona

Morlet wavelet and autocorrelation analysis of long-term data series of the Kis-Balaton water protection system (KBWPS)

ECOL ENG 36: (10)1469-1477 (2010)

IF: 2.203

Hatvani István Gábor, Kovács József, Székely Kovács Ilona, Jakusch Pál, Korponai János
Analysis of long-term water quality changes in the Kis-Balaton Water Protection System
with time series-, cluster analysis and Wilks' lambda distribution
ECOL ENG 37: (4)629-635 (2011)

IF: 3.106

Kovács J, Hatvani I G, Kovácsné Székely I, Tanos P, Korponai J
Key question of sampling frequency estimation during system calibration, on the
example of the Kis-Balaton Water Protection System's data series
GEORG AGRIC 14: (1)53-68 (2011)

Kovács J, Korponai J, Kovácsné Székely I, Hatvani I G
Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the
example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary)
ECOL ENG 42: 237-243 (2012)
IF: 2.203**

József Kovács, Mária Nagy, Brigitta Czauner, Ilona Székely Kovács, Andrea K Borsodi, István
Gábor Hatvani
Delimiting sub-areas in water bodies using multivariate data analysis on the example of
Lake Balaton (W Hungary)
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT 110: 151-158. (2012)
IF: 3.245**

Hatvani I G, Kovács J, Korponai J
Mintavételezési gyakoriság optimalizálása variogram függvényekkel a Kis-Balaton
Vízvédelmi Rendszer példáján. (in English: Optimizing sampling frequency using
variograms at the Kis-Balaton Water Protection System)
TERMÉSZETVÉD KÖZLEM 18: pp. 202-210. (2012)

Hatvani, I.G., Magyar, N., Zessner, M., Kovács, J., Blaschke, A.P., 2014a. The Water
Framework Directive: Can more information be extracted from groundwater data? A case
study of Seewinkel, Burgenland, eastern Austria. Hydrogeology Journal, DOI:
<http://dx.doi.org/10.1007/s10040-013-1093-x> (in press)

Hatvani, I.G., Kovács, J., Márkus, L., Clement, A., Hoffmann, R., Korponai, J., 2014b.
Determining background factors in the time series of an agricultural watershed using
dynamic factor analysis (River Zala, W-Hungary). Journal of Contaminant Hydrology
(submitted to journal).

Hatvani, I.G., Clement, A., Kovács, J., Kovácsné, Sz.I., Korponai, J., 2014c. Assessing water-quality data: the relationship between the water quality amelioration of Lake Balaton and the construction of its mitigation wetland. Journal of Great Lakes Research, 40 (1); DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2013.12.010> (in press).

KÖNYVFEJEZET

József Kovács; Péter Tanos; János Korponai; Ilona Kovácsné Székely; Károly Gondár; Katalin Gondár-Sőregi; István Gábor Hatvani

Analysis of Water Quality Data for Scientists

In: Kostas Voudouris; Dimitra Voutsas (szerk.)

Water Quality and Water Pollution: Evaluation of Water Quality Data.

Rijeka: InTech Open Access Publisher, 2012. pp. 65-94

(ISBN:978-953-51-0486-5)

TELJES TERJEDELMŰ KONFERENCIA KÖZLEMÉNY

Hatvani István Gábor

Tanulmány a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) mintavételezési pontjainak csoportosulásáról és vízkémiai paramétereinek térbeli alakulásáról (in English: Essay on the grouping of the sampling sites at the Kis-Balaton Water Protection System and the spatial distribution of the concentration values of its chemical parameters)

In: Fököli Gábor, Máhr Borbála, Sági Tamás (szerk.) ADSUMUS VIII.: Tanulmányok a X. Eötvös Konferencia előadásaiból Budapest: ELTE Eötvös József Collegium, 2010. pp. 212-227

(ISBN:978-963-284-149-6)

Hatvani István Gábor, Kovács József, Barcza Márton, Kovácsné Székely Ilona, Jakusch Pál, Bernáth György

Adatelemző módszerek alkalmazásának feltételei és lehetőségei a felszíni és felszín alatti víz védelmében (in English: Necessary conditions and possibilities of data analysis methods in surface-, and sub-surface water protection)

In: Bunyevác József, ifj Csonka Pál, Fodor István, Gálosi-Kovács Bernadett (szerk.) A fenntartható fejlődés, valamint a környezet- és természetvédelem összefüggései a Kárpát-medencében: e-könyv Pécs: PTE, MTA PAB, 2011. pp. (ISBN:978-963-7068-10-2)

MAGYAR ABSZTRAKT

Hatvani István Gábor

A Kis-Balaton Vízávédelmi Rendszer hosszútávú adatsorainak elemzése (in English: The assessment of the long term time series of the Kis-Balaton Water Protection System)

In: XXIX. OTDK Fizika, Földtudományok, Matematika szekció Összefoglalók
Szombathely: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2009. pp. 219
(ISBN:978-963-9871-21-2)

Hatvani István Gábor

A Kis-Balaton Vízávédelmi Rendszer hosszútávú adatsorainak vizsgálata (in English: The analysis of the long term time series of the Kis-Balaton Water Protection System)

In: X. Eötvös Konferencia Budapest: Eötvös József Collegium Diákbizottsága, 2009. pp. 29-30

Hatvani István Gábor

Többváltozós és idősoros módszerek alkalmazása a Kis-Balaton Vízávédelmi Rendszer adatsoraira (in English: The application of multivariate- and time series methods on the data series of the Kis-Balaton Water Protection System)

In: XL. Ifjú Szakemberek Ankétja Magyarhoni Földtani Társulat, 2009. pp. 35-36

Hatvani István Gábor, Kovács József, Korponai János

Mintavételezési gyakoriság becslése a Kis-Balaton Vízávédelmi Rendszeren (in English: Sampling frequency estimation on the Kis-Balaton Water Protection System)

In: VII. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia Program és absztraktkötet Debreceni Egyetem, 2011. pp. 190
(ISBN:978-963-318-169-0)

HUNGARIAN ABSTRACTS

Hatvani István Gábor

A Kis-Balaton Vízávédelmi Rendszer hosszútávú adatsorainak elemzése (in English: The assessment of the long term time series of the Kis-Balaton Water Protection System)

In: XXIX. OTDK Fizika, Földtudományok, Matematika szekció Összefoglalók
Szombathely:
Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2009.
pp. 219 (ISBN:978-963-9871-21-2)

Hatvani István Gábor

A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer hosszútávú adatsorainak vizsgálata (in English: The analysis of the long term time series of the Kis-Balaton Water Protection System)

In: X. Eötvös Konferencia Budapest: Eötvös József Collegium Diákbizottsága, 2009. pp. 29-30

Hatvani István Gábor

Többváltozós és idősoros módszerek alkalmazása a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer adatsoraira (in English: The application of multivariate and time series methods on the data series of the Kis-Balaton Water Protection System)

In: XL. Ifjú Szakemberek Ankétja Magyarhoni Földtani Társulat, 2009. pp. 35-36

Hatvani István Gábor, Kovács József, Korponai János

Mintavételezési gyakoriság becslése a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszeren (in English: Sampling frequency estimation on the Kis-Balaton Water Protection System)

In: VII. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia Program és absztraktkötet Debreceni Egyetem, 2011. pp. 190

(ISBN:978-963-318-169-0)

ANGOL ABSZTRAKT

I G Hatvani, J Kovács, J Korponai, I Kovácsné Székely

The examination of time series of the Kis-Balaton Water Protection System (KBWPS) applying state of the art statistical methods

In: XIII. Congress of Hungarian Geomathematics and the II. Congress of Croatian and Hungarian Geomathematics 2009. pp. 52-54

Hatvani I G, Kovács J, Korponai J, Kovácsné Székely I, Jakusch P

Periodicity, memory and cluster analysis on the data series of a mitigation wetland (Kis-Balaton Water Protection system, W - Hungary)

In: Vera Pawlowsky-Glahn (szerk.) 14th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences, Budapest: 2010. pp. 372

Hatvani István Gábor

Principal Component Analysis (PCA) on data series of Hidvégi Pond (W Hungary)

In: XLI. Ifjú Szakemberek Ankétja programfüzet: Meeting of Young Geoscientists Magyarhoni Földtani Társulat, 2010. pp. 19-20

I G Hatvani, N Magyar, P Tanos, J Korponai, I K Székely, A Herzig, J Kovács

Determining anthropogenic effects using principal component analysis on a fluvial (E Hungary) and two lake ecosystems (W Hungary, E Austria)

In: Giovanni Visco (szerk.) CMA4CH: Use of Multivariate Analysis and Chemometrics in Cultural Heritage and Environment. Roma, Olaszország, 2012. pp. 30-31.

(ISBN:9788875473327)

I G Hatvani, M N Reskóné, I K Székely, P Tanos, J Korponai, J Kovács

Determining the temporal sampling frequency of Kis-Balaton and the spatial sampling frequency of Lake Velence (W Hungary) using variograms

In: Giovanni Visco (szerk.) CMA4CH: Use of Multivariate Analysis and Chemometrics in Cultural Heritage and Environment. Roma, Olaszország, 2012. pp. 62-63.

(ISBN: 9788875473327)

I G Hatvani, J Kovács, L Márkus, J Korponai, R Hoffmann, A Clement

László Márkus, Vilmos Prokaj (szerk.)

Identification of Background Forces Driving the Fluctuation in the Time Series of an Agricultural Watershed Using Dynamic Factor Analysis

In: László Márkus, Vilmos Prokaj (szerk.)

Abstracts of the 29-th European Meeting of Statisticians.

Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2013.07.20-2013.07.25.

Budapest: p. 132.

István Gábor Hatvani, János Korponai, Ilona Székely Kovács, Adrienne Clement, József Kovács

Zsuzsanna Heiszler, Róbert Hohol (szerk.)

Assessment of long term water quality data to study the relationship between the oligotrophication of Lake Balaton and the construction of the Kis-Balaton Water Protection System

In: Zsuzsanna Heiszler, Róbert Hohol (szerk.)

32nd Congress of the International Society of Limnology: Programme & book of abstracts.

Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2013.08.04-2013.08.09.

Budapest: MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, p. 279.(ISBN:978-963-89460-1-0)

Válogatott irodalom

- Clement, A., 2013. Személyes közlés, 2013. December 8.
- Freedden, W., Nashed, M.Z., Sonar, T., 2010. Handbook of geomathematics. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Germany 1350p.
- Istvánovics, V., Clement A., Somlyódy L., Specziar A., G.-Toth L., Padisak J., 2007. Updating water quality targets for shallow Lake Balaton (Hungary), recovering from eutrophication. *Hydrobiologia* 581, 305-318.
- Kárpáti, I., (Ed.) 1980. A Balaton kutatásának újabb eredményei, MTA Veszprémi Akadémiai Bizottsága, monograph 6. 1. Veszprém, Magyarország
- Kovács, J., Márkus, L., Halupka, G., 2004. Dynamic Factor Analysis for Quantifying Aquifer Vulnerability, *Acta Geol. Hung.* 47, 1–17.
- Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M-L., Moss, B., Jeppesen, E., 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology & Evolution* 8, 275-279.
- Somlyódy, L., Clement, A., Istvánovics, V., G. Tóth, L., Jolánkai, G., Sisák, I., Padisák, J., Specziár, A., 2003. Evaluation of the water quality of Lake Balaton, Study to provide scientific basis for the modification of the government regulation – 1038/1999 (IV.21); kézirat, Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- Tátrai I., Kálmán, M., Korponai, J., Paulovits, G., Pomogyi, P., 2000. The role of the Kis-Balaton Water Protection System in the control of water quality of Lake Balaton, *Ecological Engineering* 16, 73–78.
- Wetzel, R.G., 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*, third ed. Academic Press, San Diego, CA, USA, 1006p.